© 2015 ARQUEOLOGÍA IBEROAMERICANA 28: 22–28. ISSN 1989–4104. http://purl.org/aia.

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

MAPEO FOTOGRAMÉTRICO EN ARQUEOLOGÍA: EXPERIENCIAS DESDE EL PROYECTO RAMIS, CUENCA NORTE DEL TITICACA, PERÚ

Photogrammetric Mapping in Archaeology: Experiences from the Ramis Project, Northern Titicaca Basin, Peru

Luis A. Flores

Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú



Figura 1. Secuencia del proceso de mapeo fotogramétrico (*photomapping*).

RESUMEN. *El registro arqueológico en tiempo real, desde el propio campo, se ha vuelto una práctica casi común para muchos arqueólogos. Aunque reemplazar el papel por la pantalla táctil aún sigue trayendo dudas y controversias. En este breve reporte queremos compartir una experiencia de registro usando un mapeo digital fotogramétrico en un sistema SIG, que fue practicado en la cuenca del Titicaca, una región altiplánica al sur del Perú, donde demostramos que este método de recolección de datos puede traer no solo rapidez sino también precisión en las mediciones.*

PALABRAS CLAVE: *SIG, mapeo fotogramétrico, registro arqueológico, tiempo real, Titicaca.*

ABSTRACT. *The recording of archaeology in real-time, from the field itself, has become common practice for many archaeologists. Still, replacing paper with touch screens continues to raise doubts and*

Recibido: 10-X-2015. Aceptado: 11-X-2015. Publicado: 17-X-2015. http://purl.org/aia/284.

Editor/*Publisher*: Pascual Izquierdo-Egea.

cause controversies within the discipline. In this brief report, we want to share an experience recording in the field using digital photogrammetric mapping in GIS. This project was carried out in the Lake Titicaca Basin, a highland region in southern Peru, where we demonstrated that this method of recording data can not only bring faster, but more accurate measurements than older methods.

KEYWORDS*: GIS, Photomapping, Archaeological recording, Real-time, Titicaca.*

INTRODUCCIÓN

El cuaderno de campo, el lápiz, la cinta métrica y la cámara fotográfica han sido los fieles compañeros de los arqueólogos. Con el pasar del tiempo, y las nuevas tecnologías, nuevos implementos forman parte de nuestro equipaje. Incluso hoy es normal que nuestros registros empiecen a ser en tiempo real, usando equipos móviles con SIG y en 3D. Aunque aún pocos son los que realmente saben para qué usar estos registros atractivos, más allá de navegar en ellos.

En los Andes peruanos también se han venido desarrollando nuevos métodos de registro con ayuda tecnológica aunque, como bien se ha señalado, se ha priorizado el desarrollo de técnicas de registro móvil para amplias prospecciones (Craig 2000), faltando más procedimientos en el registro digital de las excavaciones dentro de los sitios. Felizmente, en los últimos años se ha venido trabajando en ello. El objetivo de este breve artículo es informar sobre uno de estos métodos, que ha sido denominado en inglés *photomapping* y que llamaremos mapeo fotogramétrico, desarrollado en sucesivos proyectos en la cuenca del Titicaca, Perú (Craig 2000; Craig y Aldenderfer 2003; Craig *et al.* 2006). Aunque este breve reporte se enfocará solo en la experiencia del propio autor durante su participación en la codirección del proyecto Ramis (temporadas 2007 y 2008).

PRIMEROS ENSAYOS DE MAPEO FOTOGRAMÉTRICO EN LA ARQUEOLOGÍA ALTIPLÁNICA

Desde que se implementó el proyecto de investigación arqueológica *Ch'amak Pacha*, de la Universidad de California en 1999, liderado por Mark Aldenderfer, con la participación de Nathan Craig y Nicholas Tripcevich, se empezó a desarrollar un método de registro arqueológico basado en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG). Lo novedoso de este procedimiento fue el intento de registrar, en tiempo real y en digital, los datos espaciales de los sitios excavados. El sitio arqueológico de Jiskairumoko, una aldea de cazadores-recolectores complejos en el sur del Titicaca, Perú, fue el primer escenario de este ensayo. Siendo las primeras herramientas una cámara digital *Nikon Coolpix 950*, tabletas *Fujitsu Stylistic 230* y el uso de *ArcView 3.1* (Craig 2000, 2002; Craig y Aldenderfer 2003).

El objetivo de este método era disminuir el tiempo de ingreso de datos en el campo y la reducción de los errores de transcripción que se producen al llevar la información del papel al medio digital (Craig 2000, 2002; Craig y Aldenderfer 2003); incluso cuando a veces el digitalizador no siempre es el propio arqueólogo excavador.

El método consistía en un proceso de toma de información de las excavaciones en base a fotografías verticales de unidades de excavación de 50 x 50 cm, trasladadas luego a un programa GIS para armar un fotomosaico georreferenciado; tomando como puntos de control cada una de las cuatro esquinas de las cuadrículas de campo. Como bien ha señalado Craig (2000: 6), la georreferenciación desde imágenes a SIG era posible desde una ortofotogrametría digital. Para finalmente hacer la digitalización de las evidencias en el propio campo, usando una tableta con el mosaico como mapa base, dibujando con un lápiz digital sobre la pantalla, registrando toda la distribución horizontal de cada uno de los rasgos del suelo (Craig 2002), desde encerrar poligonales formadas por concentración de artefactos hasta minúsculas esquirlas líticas (fig. 1).

RECOLECTANDO DATOS DE CAMPO EN TIEMPO REAL EN EL PROYECTO RAMIS

Tres años después, Mark Aldenderfer y el autor lideraron un proyecto arqueológico en el valle del Ramis, cuenca norte del Titicaca. Desde su inicio en el 2007, Mark Aldenderfer y Nathan Craig trasladaron la experiencia concebida en el sur de la cuenca para aplicarla a esta investigación que empezaba con una prospección intensiva y con posteriores excavaciones. En este caso, el reto era mayor porque el registro que se intentaba hacer era sobre evidencias que superaban las escalas constructivas pre-

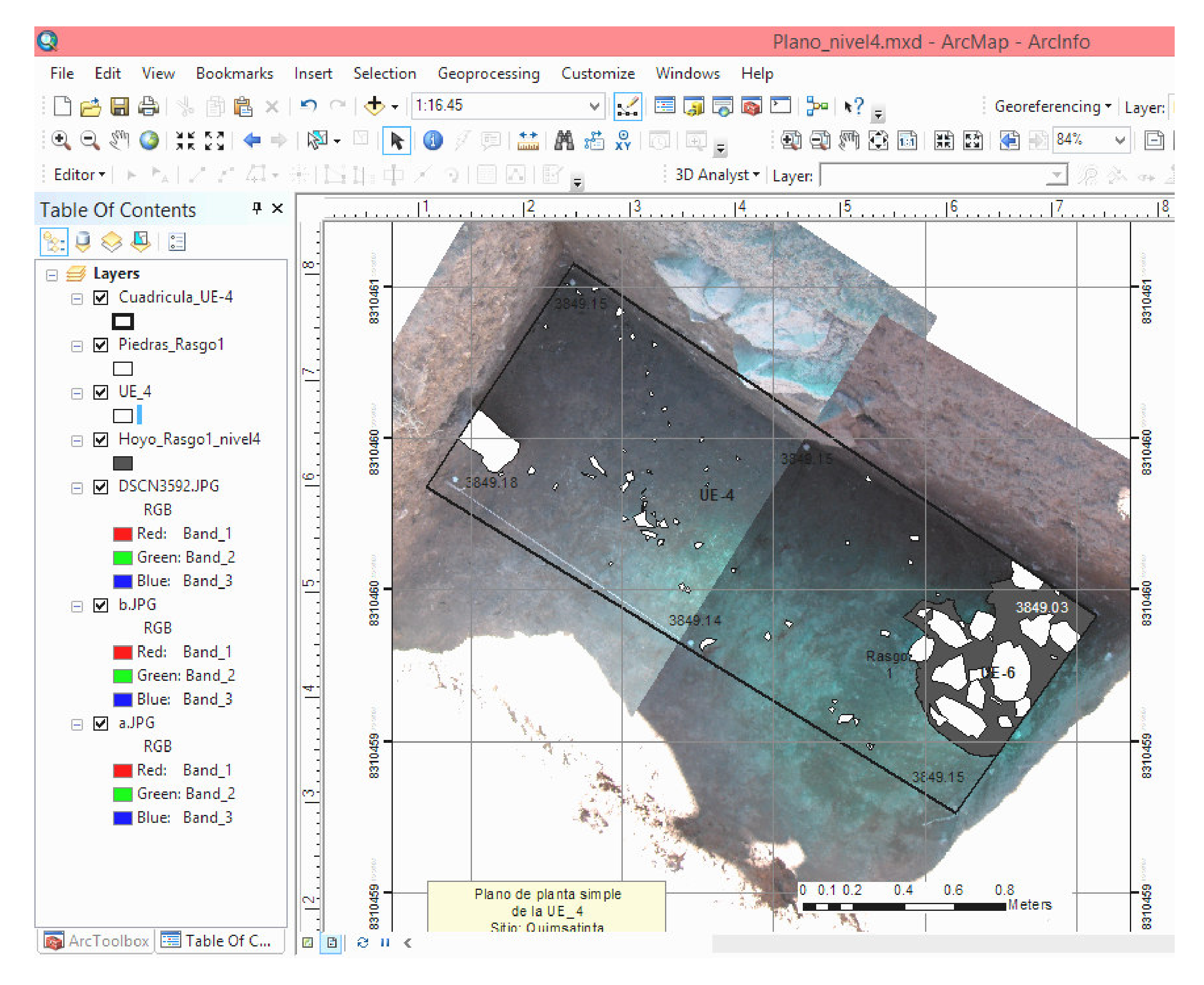


Figura 2. Trabajo de georreferenciación en *ArcGIS* de las fotos de planta de un sondeo en el sitio Quimsatinta (dibujo de Luis Flores).

viamente practicadas, por lo cual se optó por tener un registro paralelo tanto en papel como en digital.

El área prospectada fue de aproximadamente 400 km² y comprendió el curso del río, las áreas inundables, terrazas aluviales, colinas bajas y cuestas empinadas. El trabajo de prospección, que formará parte de otra publicación, permitió recolectar en tiempo real datos de campo mediante un SIG móvil y fichas digitales, contenidos en un GPS diferencial *Trimble Geo XH* (Aldenderfer y Flores 2008a).

Gracias a los resultados de la prospección, se escogieron cinco sitios para realizar excavaciones restringidas en el 2008: Silichupa, Laroqocha 2, Quimsatinta, Calapuja y Canllemoqo. La elección obedeció a que estos asentamientos tenían al parecer una ocupación continua desde el periodo Arcaico hasta el Formativo y, por tanto, podían ayudar a entender los cambios en las relaciones sociales entre los cazadores-recolectores y los primeros aldeanos.

Las excavaciones fueron realizadas en sondeos preferentemente de 1 x 1 m, aunque en Quimsatinta y Canllemoqo fueron mayores. Las esquinas de cada una de ellas fueron ubicadas con una estación total *Leica TPS 1105*, lo cual permitió ingresar esta información a un entorno de SIG. La estrategia de excavación respetó la disposición estratigráfica.

Como se dijo al inicio, en nuestro trabajo se intentó conciliar métodos de registro analógico, con el uso de papel y lápiz, así como digitales con cámaras y transferencia inmediata a computadoras. De este modo, en paralelo, se dibujó tradicionalmente la superficie de cada capa, pero también se registró cada nivel de ocupación mediante un mapeo fotogramétrico de cada cuadrícula. Al final de la excavación se dibujaron los perfiles expuestos y asi-

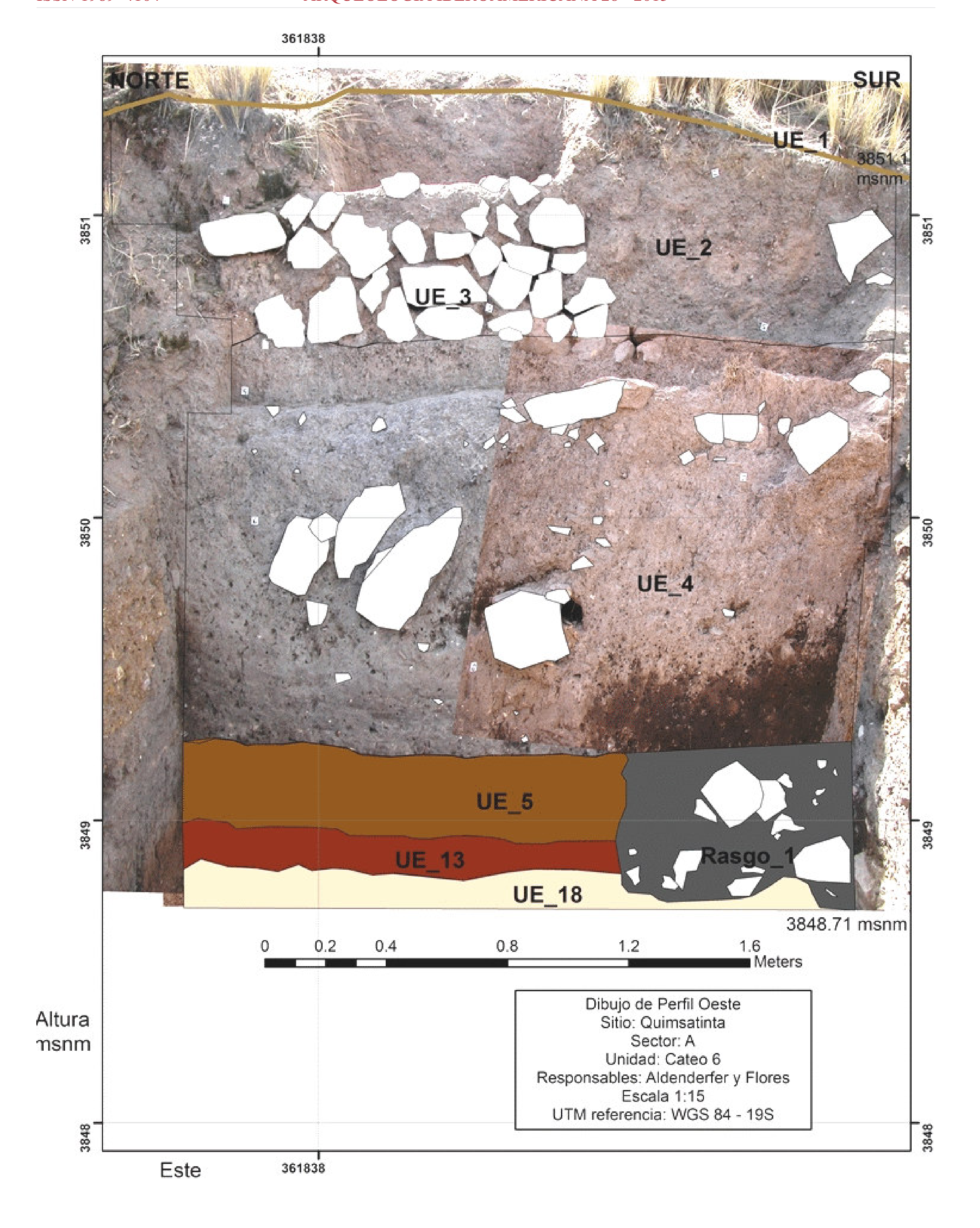


Figura 3. Proceso de mapeo del perfil oeste de Quimsatinta, teniendo como fondo el mosaico de las fotos georreferenciadas (dibujo de Luis Flores) (Aldenderfer y Flores 2008b).

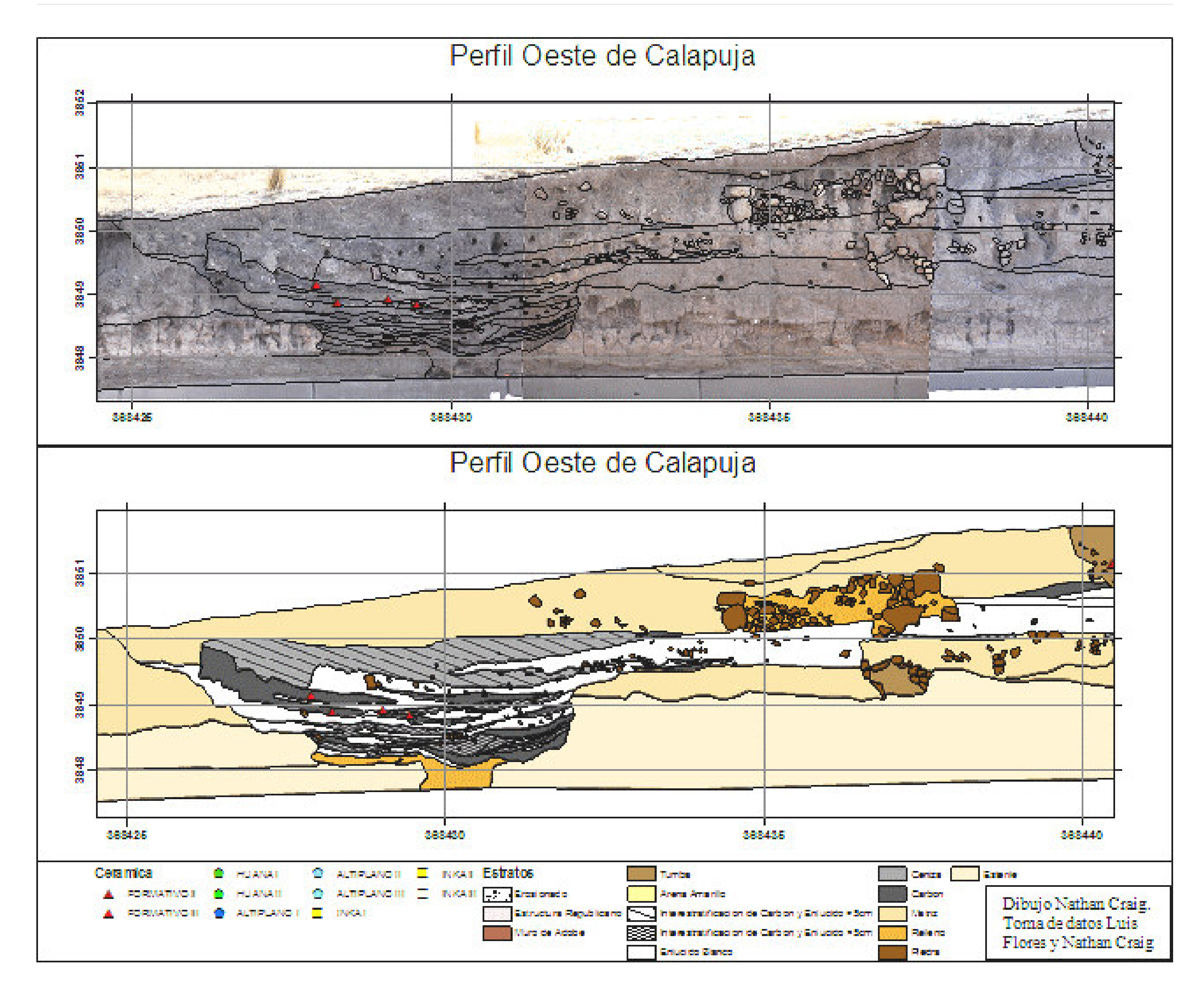


Figura 4. Trabajo de mapeo fotogramétrico del perfil oeste del sitio de Calapuja. La vista superior representa el mosaico de fotos georreferenciadas. La vista inferior es la digitalización de la información estratigráfica del perfil (dibujo y trabajos de Nathan Craig y Luis Flores) (Aldenderfer y Flores 2008b).

mismo fueron mapeados fotográficamente mediante una cuadriculación vertical, con puntos de control también cada 50 cm, medidos con la estación total. Finalmente, toda la información fue digitalizada en *ArcMap* de *ArcGIS*.

MAPEO FOTOGRAMÉTRICO EN LAS EXCAVACIONES DE LOS SITIOS DE CALAPUJA Y QUIMSATINTA

El objetivo de este trabajo fue documentar la secuencia estratigráfica, tanto de nuestras excavaciones puntuales como de los cortes estratigráficos expuestos. Aquí nos enfocaremos solo en dos de los sitios intervenidos, Quimsatinta y Calapuja, ambos con arquitectura monumental, cuyos montículos principales fueron cortados en dos por la construcción de carreteras, dejando al descubierto sus perfiles internos.

El sitio de Quimsatinta tiene un área de 11.6 hectáreas. Logramos determinar que se trataba de un asentamiento de la sociedad Pucara, del periodo Formativo Tardío (500 a. C.-400 d. C.). Nosotros trabajamos en el sector A, un montículo principal de 3 m de altura. En el sitio se practicó una excavación de 2.5 x 1.5 m y se limpió meticulosamente su perfil este, que permitió develar una rica secuencia estratigráfica. De la excavación se tomaron fotos verticales de cada capa, cubriendo áreas de 50 x 50 cm. Luego, en el campamento, las fotos fueron ingresadas como datos *Raster* en nuestro SIG. Inmediatamente desde el programa *ArcMap* se realizó una transformación polinómica, en la que una trama de

bits de las fotos fue convertida en un espacio de coordenadas X-Y (datos vectoriales), usando el comando georreferenciación y tomando como puntos de control cada una de las esquinas de las cuadrículas. Para el caso de los perfiles, se tuvo en cuenta el ingreso de datos X y Z. Finalmente, se obtuvo un plano y perfil base, desde el cual se pudo digitalizar cada una de las unidades estratigráficas (figs. 2, 3). El dibujo tuvo que confrontarse constantemente con la evidencia en campo.

Esa misma experiencia la trasladamos a un sitio mayor. Calapuja es el principal yacimiento temprano registrado en nuestro proyecto, con más de 13 hectáreas de área, donde destaca el montículo del sector A de 163 m N-S por 182 m E-W, de una altura superior a los 4 m. Nos enfocamos al registro del perfil oeste, prestando especial atención a las capas inferiores por la posibilidad de alguna ocupación precerámica previa a la construcción del montículo del periodo Formativo. El perfil del sitio fue próvidamente limpiado con badilejos, cepillos, palas y un compresor de aire. La limpieza reveló una compleja secuencia estratigráfica que fue documentada por mapeo fotogramétrico. Esta documentación se realizó mediante puntos georreferenciados, controlados con estación total y dibujando en *ArcMap* (fig. 4).

Nathan Craig calculó la raíz cuadrada media de error (RCM), precisando que hay menos de 1 cm de error en las fotos georreferenciadas (Aldenderfer y Flores 2008b). Sin embargo, esta exactitud debió de ser por el uso de la estación total. El error usual del método, solo usando fotos verticales, está entre 2 y 3 cm (Tripcevich y Wernke 2010).

LAS POSIBILIDADES DEL MAPEO FOTOGRAMÉTRICO

El mapeo fotogramétrico puesto a prueba en ambas experiencias se ha mostrado como un método de registro útil, tanto por su rapidez en la toma de datos como por la precisión de estas. Pero, además, porque permite almacenar información más allá de la propia decisión subjetiva del registrador, lo cual tal vez en el futuro será relevante. Es decir, dicho registro permitirá al investigador, o a cualquier otro, poder volver a la capa, al menos digitalmente, algo que es imposible en el registro de papel luego que la capa fuese excavada. En estos últimos años el método ha sido refinado (Tripcevich y Wernke 2010), aplicándolo a diferentes escalas espaciales y utilizando una matriz flexible de diferentes técnicas de mapeo: el estilo normal (X, Y, Z), el fotogramétrico (*photomapping*), el mapeo por paralaje (*offset mapping*) e, incluso, usando estación total para los rasgos más importantes. A ello habría que sumar el uso de aeronaves no tripuladas para el registro de sitios enteros. En conclusión, el mapeo fotogramétrico es una herramienta ventajosa, precisa, rápida y barata de registro de las excavaciones arqueológicas, aunque obviamente hoy tiene que actualizarse usando los dispositivos móviles del SIG. El reto de ahora será empezar a usar esta base de datos en análisis espaciales, geoestadísticos y 3D desde el SIG.

Agradecimientos

A Mark Aldenderfer por permitirme codirigir este proyecto, financiado por la beca BCS-0318500 de la *National Science Foundation*. Reconocimientos al equipo del proyecto Ramis: Silvia Román, Cecilia Chávez, Randy Haas y, en especial, a Nathan Craig por tanta enseñanza. A N. Tripcevich gracias por sus consejos y una foto de la fig. 1.

Sobre el autor

Luis A. Flores Blanco (Lima, 1978) se licenció en Arqueología por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, en 2006. Obtuvo su maestría (2012/13) en Arqueología Prehistórica en la Universidad Complutense de Madrid, España. Profesor Auxiliar de la carrera de Arqueología de la Universidad Nacional Federico Villarreal en Perú (2014/15), ha publicado numerosos artículos de su especialidad en el Perú y en el extranjero. Su interés principal se centra en la teoría arqueológica, especialmente el estudio de la monumentalidad, el paisaje y la construcción de los lugares. Su investigación de campo se ha enfocado en la costa central, norcentral y la cuenca del lago Titicaca de los Andes peruanos. Correo electrónico: lflores78@gmail.com.

BIBLIOGRAFÍA

Aldenderfer, M., L. Flores.

— 2008a. *Prospección arqueológica, con excavaciones restringidas, en la cuenca del Ramis (parte baja del río Pucara y el río Ramis), Puno, Perú*. Informe al INC, temporada 2007.

— 2008b. *Excavaciones en sitio arcaico-formativo de la cuenca del Ramis, Puno*. Informe al INC, temporada 2008.

Craig, N.

— 2000. Real-Time GIS Construction and Digital Data Recording of the Jiskairumoko Excavation, Peru. *SAA Bulletin* 18/1: 1-10.

— 2002. Recording Large-Scale Archaeological Excavation with GIS. *ArcNews*, Spring.

Craig, N., M. Aldenderfer. 2003. Preliminary Stages in the Development of a Real-Time Digital Data Recording System for Archaeological Excavation Using ArcView GIS 3.1. *Journal of GIS in Archaeology* 1: 13-22.

Craig, N., M. Aldenderfer, H. Moyes. 2006. Multivariate visualization and analysis of photomapped artifact scatters. *Journal of Archaeological Science* 33: 1617-1627.

Tripcevich, N., S. Wernke. 2010. On-Site Recording of Excavation Data Using Mobile GIS. *Journal of Field Archaeology* 35/4: 380-397.